

Kertas Asli/Original Articles

Pengaktifan Otak yang Disebabkan oleh Stimulus Penglihatan Pelbagai: Satu Kajian Rintis Menggunakan Analisis Kesan Malar ke Atas Subjek Sihat

(Brain Activation Due to Various Visual Stimuli: A Pilot Study using Fixed-effects Analysis on Healthy Participants)

N.H. NASARUDDIN, A.N. YUSOFF*, SHARANJEET KAUR, N.F. NASRUDIN & S. MUDA

ABSTRAK

Keabnormalan okular mempunyai kesan ketara ke atas pengaktifan otak. Walau bagaimanapun, data pengimejan neuro mengenai ciri okular subjek sihat masih berkurangan untuk dibandingkan dengan data bagi pesakit yang mengalami patologi okular. Objektif kajian pengimejan resonans magnet kefungsi (fMRI) subjek berbilang ini adalah untuk menyelidiki ciri pengaktifan otak subjek sihat apabila mereka melihat stimulus pelbagai bentuk, corak dan saiz. Semasa imbasan fMRI, subjek memerhati stimulus cincin membesar, baji berputar, flip jam pasir/bow tie, arka kuadran dan corak dam penuh. Kesemua stimulus mempunyai unsur corak dam hitam-putih. Pemetaan statistik berparameter (SPM) digunakan dalam penjanaan pengaktifan otak melalui analisis kesan malar (FFX) dan konjungsi. Stimulus yang pelbagai bentuk, corak dan saiz menghasilkan pengaktifan otak yang berbeza dengan pengaktifan yang lebih banyak tertumpu di hemisfera kiri. Keputusan ini disokong oleh analisis konjungsi yang mendapati girus presentral, postcentral, superior temporal dan oksipital kiri serta korteks sengkang kiri terlibat semasa subjek melihat setiap stimulus penglihatan yang diberikan. Analisis pengaktifan pembezaan menunjukkan pengaktifan dengan kekhususan yang tinggi di kawasan oksipital akibat stimulus pelbagai bentuk, corak dan saiz. Pengaktifan pada girus temporal tengah kanan didapati lebih tinggi secara bererti untuk stimulus penglihatan bergerak berbanding dengan stimulus pegun. Ini mengesahkan penglibatan girus temporal tengah kanan dalam pemerhatian kepada pergerakan. Stimulus corak dam hitam-putih pelbagai bentuk, corak dan saiz, pegun dan juga bergerak didapati telah 1) mengaktifkan korteks penglihatan dan juga korteks lain di lobus temporal dan parietal, 2) menyebabkan ketaksimetrian kefungsi otak dan 3) menunjukkan ciri persepadaian kefungsi beberapa kawasan otak.

Kata kunci: fMRI; SPM; stimulus penglihatan; girus oksipital; girus temporal tengah

ABSTRACT

Ocular abnormalities have apparent effects on brain activation. However, neuroimaging data about the ocular characteristics of healthy participants are still lacking to be compared with data for patients with ocular pathology. The objective of this multiple participants' functional magnetic resonance imaging (fMRI) studies was to investigate the brain activation characteristics of healthy participants when they view stimuli of various shapes, pattern and size. During the fMRI scans, the participants view the growing ring, rotating wedge, flipping hour glass/bow tie, quadrant arc and full checker board stimuli. All stimuli have elements of black-and-white checkerboard pattern. Statistical parametric mapping (SPM) was used in generating brain activation via fixed-effects (FFX) and conjunction analyses. The stimuli of various shapes, pattern and size produce different brain activation with more activation concentrated in the left hemisphere. These results are supported by the conjunction analysis which indicated that the left pre-central, post-central, superior temporal and occipital gyrus as well as the left cingulate cortices were involved when the participants viewed each given stimulus. Differential activation analysis showed activation with high specificity in the occipital region due to the stimuli of various shapes, pattern and size. The activation in the right middle temporal gyrus was found to be significantly higher in response to moving stimuli as compared to stationary stimuli. This confirms the involvement of the right middle temporal gyrus in the observation of movements. The black-and-white checkerboard stimuli of various shapes, pattern and size, stationary and moving was found to 1) activate visual as well as other cortices in temporal and parietal lobes, 2) cause asymmetry in brain function and 3) exhibit functional integration characteristics in several brain areas.

Keywords: fMRI; SPM; visual stimulus; occipital gyrus; middle temporal gyrus

PENDAHULUAN

Pemetaan input penglihatan pada otak menggunakan pengimejan resonans magnet kefungsi (fMRI) menyediakan maklumat berguna mengenai sifat hubungan antara bidang penglihatan dan perwakilan korteks seseorang individu (Warnking et al. 2002). Teknik fMRI mendominasi pemetaan fungsi otak dan menjadi teknik pilihan kerana ia tidak invasif, berupaya menghasilkan imej dengan peleraian ruang dan masa yang baik serta dapat memberikan maklumat tambahan mengenai tindak balas fisiologi di dalam otak (Duncan et al. 2007; Friston et al. 1995). Teknik fMRI juga digemari kerana ia berupaya mengenalpasti kawasan di dalam otak yang mengawal suatu fungsi kognitif dan yang memberi respons terhadap stimulus deria yang diberikan. Oleh itu, ia membolehkan perbandingan dilakukan antara fungsi otak yang sihat dan tidak normal (Duncan et al. 2007; Gratton et al. 2013; Luna & Sweeney 2004).

Teknik fMRI telah digunakan secara meluas untuk mengkaji fungsi penglihatan otak (Dumoulin & Wandell 2008; Goodyear & Menon 1998; Gratton et al. 2013). Teknik ini membolehkan perwakilan bidang penglihatan di dalam korteks oksipital manusia dikaji secara tidak invasif (Dumoulin & Wandell 2008), misalnya pemetaan retinotopik (Duncan et al. 2007), penumpuan penglihatan (Desimone & Duncan 1995) dan pemerhatian kepada pergerakan (Calvo-Merino et al. 2005). Pemetaan retinotopik boleh memberikan maklumat terperinci mengenai hubung kait antara bidang penglihatan dan perwakilannya pada korteks seseorang individu (Duncan et al. 2007). Selain menyediakan data pengimejan kefungsi sistem penglihatan subjek sihat, fMRI juga adalah teknik yang sesuai untuk mengkaji sifat retinotopik kawasan penglihatan otak bagi subjek yang mengalami keabnormalan okular (Warnking et al. 2002) seperti glaucoma (Duncan et al. 2007).

Teorifisiologi menyatakan bahawa sifat dan kategori stimulus penglihatan diproses di kawasan korteks striat dan ekstrasariat yang khusus (Puce et al. 1996) yang juga dikenali sebagai Kawasan Brodmann (BA) 17, 18 dan 19. Kawasanyang terlibat dalam pemprosesan bentuk, wajah, ekspresi wajah dan gerakan umumnya telah diketahui (Puce et al. 1996). Contohnya, wajah dan ekspresi wajah mengaktifkan girus fusiform secara bilateral, huruf dan perkataan mengaktifkan oksipitotemporal kiri dan sulkus oksipital inferior (Puce et al. 1996) manakala stimulus penglihatan yang bergerak menunjukkan pengaktifan di korteks premotor, sulkus intraparietal, lobus parietal kanan dan sulkus temporal kiri (Calvo-Merino et al. 2005).

Maklumat mengenai pemprosesan imej penglihatan yang lain di dalam otak manusia juga banyak yang telah diketahui terutamanya daripada kajian psikofizik ke atas subjek normal (Puce et al. 1996). Akan tetapi, sistem penglihatan manusia mempunyai kapasiti pemprosesan yang terhad (Desimone & Duncan 1995). Ini berlaku terutamanya apabila pelbagai rangsangan hadir serentak

dalam suatu masa. Sistem pemprosesan penglihatan perlu bersaing untuk mendapatkan perwakilan korteks. Akibatnya, rangsangan dengan pelbagai ciri, warna atau gerakan menghasilkan pengaktifan otak yang lebih menonjol berbanding rangsangan yang tidak menunjukkan ciri yang tertentu (Melcher et al. 2005).

Sehingga kini, masih banyak kajian tentang sifat kefungsi otak sebagai respons terhadap stimulus penglihatan dilakukan. Antaranya adalah kajian terhadap pemerhatian dan pengecaman wajah (Gratton et al. 2013), pemerhatian terhadap stimulus bergerak (Calvo-Merino et al. 2005) dan kekuatan memfokus dan mengingat stimulus penglihatan (Sorstedt et al. 2005). Dalam kajian yang dijalankan menggunakan stimulus penglihatan yang bergerak, pengaktifan didapati berlaku pada korteks premotor, lobus parietal superior dan sulkus temporal superior. Ini dibincangkan berdasarkan fakta bahawa otak manusia dapat memahami pergerakan akibat daripada rangsangan motor (Calvo-Merino et al. 2005). Walau bagaimanapun, tidak banyak kajian terdahulu yang menyentuh tentang pemerhatian terhadap stimulus penglihatan pelbagai bentuk, corak dan saiz yang bergerak dan ini menyebabkan mekanisme yang membelakanginya belum dapat difahami sepenuhnya.

Oleh itu, dalam kajian ini beberapa persoalan diutarakan. Pertama, adakah stimulus penglihatan yang berupa cincin membesar, baji berputar, flip jam pasir/*bow tie*, arka kuadran dan corak dam penuh dalam pelbagai saiz, bentuk dan animasi hanya mengaktifkan kawasan korteks penglihatan atau turut juga melibatkan kawasan di luar korteks penglihatan. Kedua, wujud ataupun tidak kawasan pengaktifan sepunya di dalam otak untuk kesemua stimulus tersebut. Ketiga, kawasan otak manakah yang menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi berbanding kawasan lain apabila stimulus yang mempunyai unsur pergerakan ditayangkan.

Bagi menjawab persoalan tersebut, dalam kajian ini, data fMRI penglihatan dianalisis menggunakan pemetaan statistik berparameter (SPM) yang objektifnya adalah untuk mengenal pasti dan mencirikan kawasan otak yang terlibat apabila subjek memerhati stimulus penglihatan yang pelbagai bentuk, corak dan saiz. Ini dilakukan melalui analisis kesan malar (FFX) ke atas sifat pengkhususan kefungsi otak. Bagi menentukan kesan sepunya kesemua stimulus ke atas pengaktifan otak, analisis konjungsi dilakukan, juga dalam kerangka FFX. Bagi mengenal pasti kawasan otak yang lebih aktif semasa subjek memerhatikan imej yang mempunyai unsur pergerakan berbanding imej pegun pula, analisis pengaktifan pembezaan dilakukan. Memandangkan kesemua stimulus penglihatan yang digunakan dalam kajian ini mempunyai unsur corak dam hitam-putih, dijangkakan terdapat sekurang-kurangnya satu kawasan korteks yang akan mengalami pengaktifan sepunya bererti. Jika pemerhatian terhadap stimulus yang mempunyai unsur pergerakan menghasilkan rangkaian pengaktifan yang berbeza di dalam otak berbanding dengan pemerhatian terhadap stimulus pegun, akan wujud kawasan

otak yang mengalami pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti semasa subjek memerhati stimulus yang mempunyai unsur pergerakan berbanding semasa subjek memerhati stimulus pegun.

KAEDAH UJIKAJI

SUBJEK

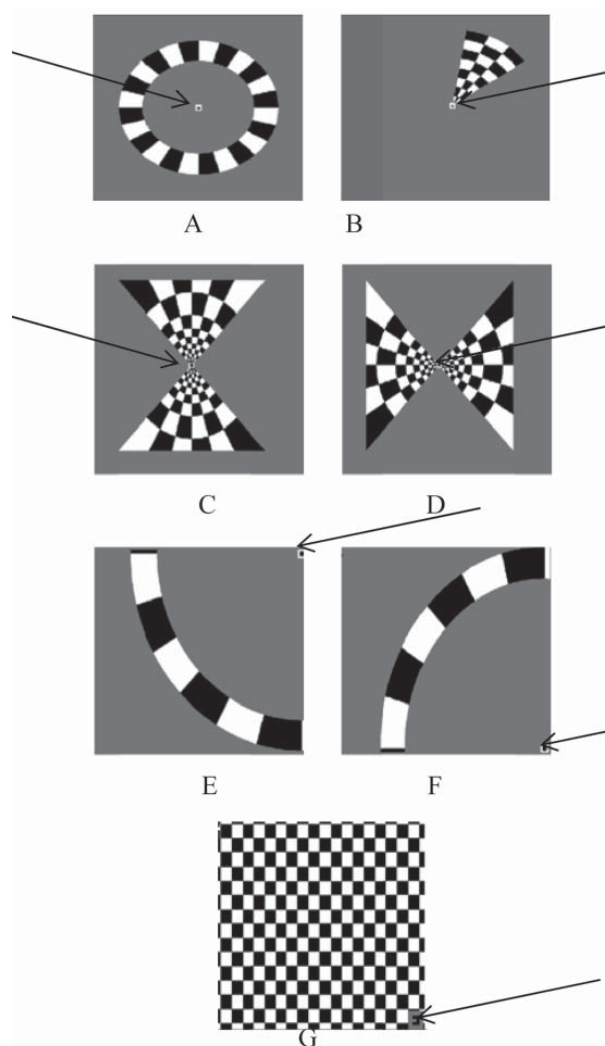
Imbasan fMRI dijalankan ke atas 16 orang subjek sihat (9 lelaki dan 7 wanita). Kesemua subjek berumur tidak kurang daripada 40 tahun (purata = 48.7 tahun; SD = 6.4 tahun). Sebelum menyertai kajian, kesemua subjek diberi penerangan mengenai tujuan kajian dan risiko yang bakal dihadapi. Kesemua subjek faham serta bersetuju untuk mengambil bahagian dan menandatangani borang persetujuan menyertai kajian. Kesemua subjek diwajibkan menjalani pemeriksaan mata komprehensif oleh Optometris bertauliah di Klinik Oftalmologi, Hospital Selangor. Tahap penglihatan kedua-dua mata subjek perlu lebih baik daripada 6/12 tanpa pembetulan refraksi penuh, tidak mengalami rabun warna, tidak pernah menjalani pembedahan mata serta tidak menggunakan ubat yang memberi kesan kepada lapisan retina. Bagi imbasan fMRI, subjek diwajibkan mengisi beberapa borang saringan sebelum dibenarkan menjalani imbasan. Kesemua subjek mestilah bebas daripada penyakit saraf atau sistemik, tidak mempunyai implan atau logam di dalam badan serta tidak mengalami klaustrofobia, iaitu perasaan takut apabila berada di tempat yang sempit dan tertutup. Penyelidikan yang dijalankan ini telah mendapat kelulusan Jawatankuasa Penyelidikan Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia (No Rujukan: NN-073-2011).

IMBASAN FMRI

Imbasan fMRI dijalankan di Jabatan Radiologi, Pusat Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia (PPUKM) oleh seorang Juru X-Ray (MRI) bertauliah. Imej kefungsi (T2*) dan imej struktur berpelerai tinggi (T1) keseluruhan bahagian otak diperoleh menggunakan sistem pengimejan resonans magnet (MRI) model Siemens Magnetom Verio dengan kekuatan medan magnet 3 tesla yang dilengkapi dengan protokol pengimejan kefungsi yang menggunakan jujukan denyut pengimejan gemaan satah (EPI). Gelung frekuensi radio (RF) kepala digunakan untuk penghantaran dan penerimaan denyut isyarat. Parameter jujukan denyut EPI yang digunakan adalah seperti berikut; masa pemerolehan (TA) = 3000 ms, masa menggema (TE) = 50 ms, bidang penglihatan (FOV) = 192×192 mm, sudut kecondongan (α) = 90° , saiz matriks = $3 \times 3 \times 3$ dan ketebalan hirisan = 3 mm. Imej T1 pula diperoleh menggunakan jujukan denyut pembinaan semula multisatah (MPR) dengan parameter pengimejan berikut: TR = 1620 ms, $\alpha = 90^\circ$, saiz matriks = $3 \times 3 \times 3$ dan ketebalan hirisan = 1 mm.

STIMULUS PENGLIHATAN DAN SUSUN ATUR SKRIN

Tujuh jenis stimulus penglihatan iaitu cincin membesar (A), baji berputar (B), jam pasir/bow tie (CD), arka kuadran (EF) dan (G) corak dam digunakan dalam kajian ini (Rajah 1). Stimulus yang digunakan di ambil dari Duncan et al. (2007) dan ia sememangnya digunakan untuk menguji pesakit yang mempunyai masalah okular. Kesemua stimulus mempunyai unsur pergerakan kecuali stimulus G yang bersifat statik. Stimulus C dan D saling bertukar (secara flip) apabila ditayangkan kepada subjek seolah-olah wujud pergerakan. Begitu juga stimulus E dan F. Stimulus penglihatan dipancarkan pada skrin bukan logam menggunakan pemancar paparan hablur cecair (LCD). Skrin bukan logam diletakkan di dalam bilik magnet berhadapan dengan gantri magnet. LCD disambung kepada komputer riba dan kedua-duanya diletakkan di luar bilik magnet. Bim stimulus yang dipancarkan dari luar bilik magnet dipantulkan

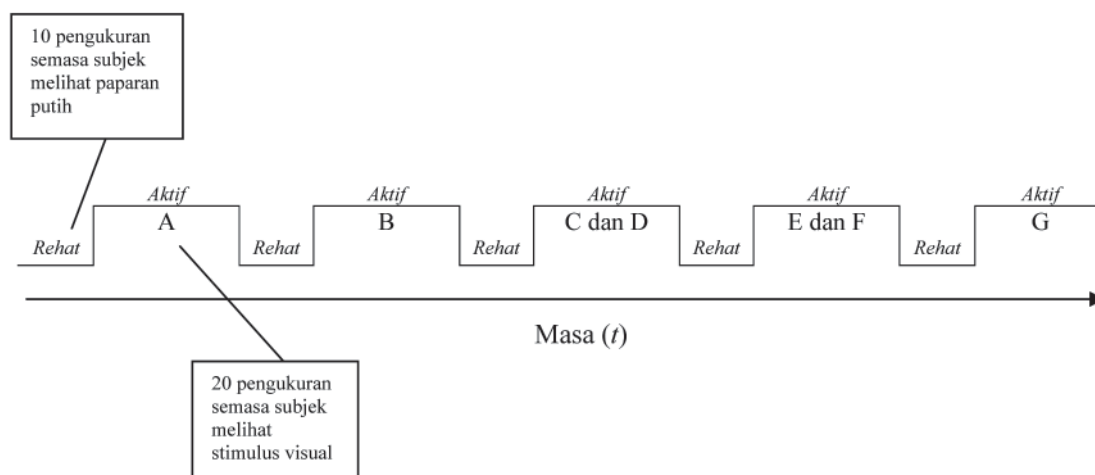


RAJAH 1. Stimulus A, B, C & D, E & F dan G yang digunakan dalam kajian ini. Penglihatan subjek perlu difokuskan kepada titik kecil (anak panah) di atas imej setiap stimulus

pada cermin yang terlekat pada gegelung RF kepala dan seterusnya menuju ke mata subjek. Subjek diminta supaya tidak menggerakkan kepala mereka semasa imbasan. Untuk memastikan pergerakan kepala dikurangkan, alat cegah gerak dipakaikan bersama gegelung kepala. Sebelum imbasan dijalankan iaitu di luar bilik magnet, kesemua stimulus ditayangkan kepada subjek dan subjek diberi penerangan terperinci mengenai stimulus yang akan dilihat dan bagaimana untuk memberi respons.

PARADIGMA UJIKAJI

Dalam kajian ini, subjek hanya perlu melihat dengan penuh perhatian kesemua stimulus yang ditayangkan. Walau bagaimanapun, penglihatan subjek mestilah difokuskan pada satu titik yang telah ditetapkan di atas stimulus tersebut, (Rajah 1). Paradigma jenis blok aktif-rehat 24 kitar digunakan dalam kajian ini (Rajah 2). Kesemua stimulus A, B, CD, EF serta G (iaitu keadaan aktif) ditayangkan secara



RAJAH 2. Gambar rajah pemasaan bentuk blok yang digunakan dalam pengukuran fMRI

bergilir, dengan setiap satu diselang-seli dengan paparan putih (iaitu keadaan rehat). Subjek perlu memberi respons dengan memicit (sekali) bebuli getah menggunakan tangan kanan apabila melihat paparan putih yang kosong. Ini adalah supaya subjek sentiasa kekal sedar dan bersedia. Untuk keadaan aktif (stimulus ditayangkan), sebanyak 20 imbasan dilakukan manakala untuk keadaan rehat (subjek rehat sambil melihat skrin putih) sebanyak 10 imbasan dilakukan, menjadikan keseluruhannya 80 imbasan untuk setiap jenis stimulus dan 160 imbasan untuk keadaan rehat. Jumlah imbasan untuk setiap sesi fMRI adalah 480. Setiap imbasan menghasilkan sebanyak 25 imej hirisan aksial yang merangkumi keseluruhan otak dalam tempoh 2 saat (TA). Setiap sesi imbasan pula bermula dengan keadaan rehat. Masa pengimejan untuk setiap sesi imbasan adalah selama 3s (iaitu 2s masa pemerolehan imej + 1s sela antara pemerolehan) \times 480 imbasan = 1440 s = 24 minit, yang menghasilkan sebanyak $480 \times 25 = 12,000$ imej kefungsiannya. Imej kefungsiannya berwujudan T_2^* beresolusi tinggi ini diperolehi menggunakan saiz voksels $1.64 \text{ mm} \times 1.64 \text{ mm} \times 4.00 \text{ mm}$.

PEMROSESAN DATA FMRI

Analisis imej T_2^* dijalankan menggunakan perisian Pemetaan Statistik Berparameter SPM12b (Functional Imaging Laboratory, Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Institute of Neurology, Universiti College

of London) yang menggunakan perisian MATLAB versi R2010a (Mathworks Inc., Natick, MA, USA) sebagai pelantar. Kawasan otak yang mengalami pengaktifan untuk setiap stimulus A, B, CD, EF serta G dijana menggunakan analisis kesan malar (FFX). Pengaktifan otak yang disebabkan oleh konjungsi daripada kesan stimulus penglihatan A, B dan CD juga dihasilkan pada aras keertian yang sama untuk dibandingkan dengan pengaktifan EF dan juga G. Seterusnya analisis pembezaan dilakukan bagi mengenalpasti kawasan di dalam otak yang mengalami pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti apabila satu stimulus penglihatan tertentu ditayangkan berbanding apabila ditayangkan stimulus penglihatan yang lain (iaitu $ABCD > EF$; $EF > ABCD$; $EF > G$; $G > EF$; $ABCD > G$; $G > ABCD$). Ketiga-tiga analisis di atas dipenggal pada aras keyakinan yang diperbetulkan iaitu pada nilai $p < 0.05$. Ini adalah untuk mengawal ketakpastian yang diakibatkan oleh kelompok atau keluarga (famili) voksels atau *family-wise error* (FWE). Seterusnya pengaktifan otak dianalisis menggunakan analisis konjungsi (Friston et al. 1999) bagi menentukan kawasan sepunya di dalam otak yang terlibat dalam pemprosesan kesemua jenis stimulus (iaitu $A \wedge B \wedge CD \wedge EF \wedge G$). Pengaktifan otak dipenggal pada aras keertian $p < 0.001$. Kawasan otak yang menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti untuk stimulus yang mempunyai unsur pergerakan berbanding stimulus pegun ditentukan menggunakan gabungan analisis pembezaan pengaktifan dan konjungsi (iaitu $(A > G) \wedge (B$

$> G) \wedge (CD > G) \wedge (EF > G)$). Aras keertian untuk analisis ini juga ditetapkan pada $p < 0.001$. Pengesahan kawasan pengaktifan otak yang diperolehi daripada setiap analisis di atas dilakukan menggunakan perisian Anatomy Toolbox (Eickhoff et al. 2005).

KEPUTUSAN

Jadual 1 menyenaraikan kawasan pengaktifan di dalam otak ke atas semua subjek, koordinat MNI dan statistik

t untuk voksels dengan keamatan maksimum dalam kelompok pengaktifan tertentu serta bilangan voksels yang aktif (BVA) semasa subjek menumpukan perhatian masing-masing kepada stimulus penglihatan A, B, CD, EF dan G yang ditayangkan. Koordinat MNI adalah ruang stereotaktik piawai yang disediakan oleh McConnell Brain Imaging Center, Montréal Neurological Institute, McGill University, untuk penyeragaman pemetaan pengaktifan otak dalam pengimejan sains neuro. Dapat diperhatikan bahawa stimulus A, B, CD, EF dan G masing-masing mengaktifkan kawasan otak yang tidak sama. Kawasan

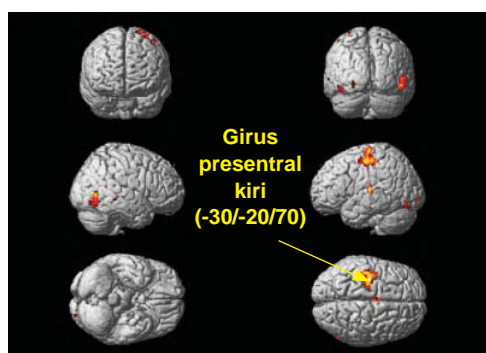
JADUAL 1. Maklumat pengaktifan otak kumpulan yang diperolehi daripada analisis kesan malar (FFX) untuk stimulus A, B, CD, EF dan G pada aras keertian diperbetulkan $\alpha = 0.05$

Stimulus	Kawasan otak	Koordinat MNI			Statistik t ± 0.01	BVA
		x	y	z		
A	Girus oksipital tengah kiri	-22	-96	-4	4.93	15
	Girus oksipital inferior kanan	+48	-70	-16	4.90	15
	Girus temporal tengah kanan	+56	-68	0	4.88	9
	Girus presentral kiri	-30	-18	+70	4.85	14
	Girus temporal tengah kiri	-56	-70	+8	4.81	7
B	Korteks singulat tengah kiri	0	-4	+50	6.42	349
	Girus presentral kiri	-30	-22	+70	5.89	126
	Girus temporal tengah kanan	+56	-66	-2	5.60	57
	Girus pos sentral kiri	-38	-28	+52	5.41	46
	Girus temporal superior kiri	-50	-22	+10	5.36	51
	Girus oksipital inferior kiri	-48	-76	-12	5.12	11
	Girus temporal tengah kiri	-50	-64	+2	4.94	33
	Girus frontal superior kiri	-26	-8	+66	4.83	9
CD	Sulkus kalsarin kanan/girus oksipital inferior kanan	+22	-100	-4	8.80	280
	Girus oksipital tengah kiri/lingual kiri/sulkus kalsarin kiri/oksipital inferior kiri	-22	-98	-4	7.25	234
	Girus oksipital inferior kiri	-44	-74	-18	6.15	41
	SMA kanan/korteks singulat tengah kiri	+2	0	+46	5.74	300
	Girus oksipital inferior kanan	+48	-80	-8	5.62	131
	Girus pre sentral kiri/pos sentral kiri	-36	-14	+54	5.35	129
	Girus temporal superior kiri	-60	-24	+6	4.85	21
	Girus presentral kiri	-28	-22	+70	4.84	14
EF	Girus pos sentral kiri/pre sentral kiri	-38	-28	+52	8.34	1128
	Girus temporal inferior kiri/oksipital inferior kiri	-56	-66	-8	7.42	308
	Girus temporal superior kiri	-52	-20	+10	6.64	296
	Girus temporal inferior kanan/temporal tengah kanan	+48	-72	-12	6.24	143
	SMA kiri	0	-6	+52	6.07	136
	Girus pos sentral kiri/Lobul parietal superior kiri	-28	-42	+56	5.00	32
G	Sulkus kalsarin kanan/oksipital inferior kanan	+16	-102	-2	6.99	71
	Sulkus kalsarin kiri	-18	-98	-4	6.94	72
	Korteks singulat tengah kiri	-2	-6	+50	6.06	62
	Serebelum kiri	-30	-82	-26	5.92	90
	Girus pre sentral kiri	-30	-22	+68	5.32	42
	Girus pos sentral kiri	-48	-24	+60	5.25	14
	Serebelum kanan	+16	-86	-24	5.16	12
	Girus pos sentral kiri	-38	-28	+54	5.02	10
	Serebelum kanan	+40	-76	-26	4.92	8
	Girus temporal superior kiri	-54	-22	+6	4.68	7

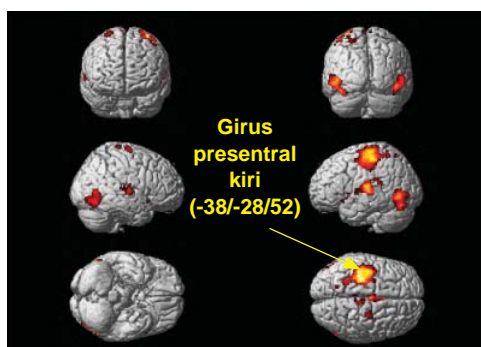
BVA = Bilangan voksels aktif; MNI = Montréal Neurological Institute

otak yang mengalami pengaktifan menunjukkan lateralisasi kiri (kiri lebih besar daripada kanan) dan mendominasi bahagian posterior otak. Bilangan voksels aktif yang kecil dalam suatu kelompok pengaktifan menunjukkan bahawa pengaktifan yang berlaku mempunyai sifat kekhususan yang tinggi tetapi dengan kuasa statistik yang rendah.

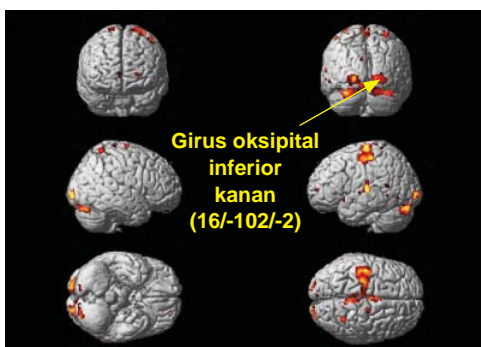
Rajah 3 (a-c) masing-masing membandingkan kawasan pengaktifan otak yang terhasil daripada stimulus penglihatan AA BA CD (konjungsi), EF dan G. Rajah pengaktifan otak yang ditunjukkan adalah paparan tiga dimensi, yang mengikut tatacara neurologi dalam



(a)



(b)



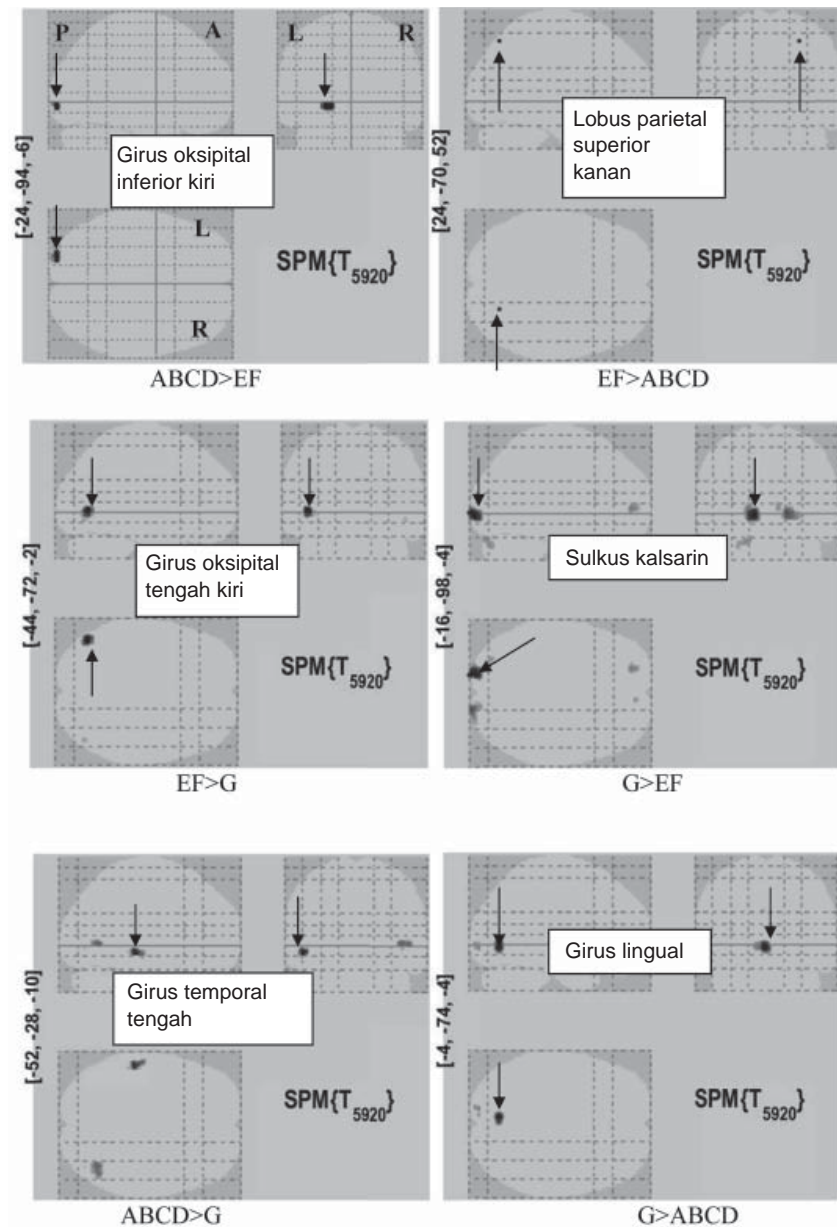
(c)

RAJAH 3. Paparan purata pengaktifan otak kesemua subjek tiga dimensi untuk stimulus (a) AA BA CD, (b) EF dan (c) G. Bermula paling atas dan paling kiri: pandangan anterior, posterior, lateral kiri, atas, bawah dan lateral kanan. Kawasan dengan pengaktifan maksimum ditunjukkan pada aras keyakinan diperbetulkan, $p < 0.05$

pembacaan imej iaitu sebelah kanan imej adalah bahagian kanan otak. Peta pengaktifan otak untuk setiap stimulus penglihatan tersebut diperolehi daripada analisis kesan malar (FFX) pada aras keyakinan diperbetulkan, $p < 0.05$. Daripada analisis, kawasan pengaktifan sepunya utama untuk konjungsi kesemua subjek kesan stimulus A, B dan CD yang dikenalpasti adalah girus oksipital inferior kanan, korteks singulat tengah kiri dan girus presentral kiri. Voksels dengan keamatan maksimum berada dalam girus presentral kiri. Stimulus EF pula mengaktifkan girus pos/presentral kiri, girus temporal/oksipital inferior kiri dan girus temporal superior kiri dengan agak ketara. Keputusan juga menunjukkan bahawa voksels dengan keamatan maksimum berada dalam girus pre/possentral kiri. Selain itu, kesan AA BA CD dan EF mengaktifkan girus temporal inferior/tengah di hemisfera kanan dan kawasan motor suplimen pada satah sagital tengah otak. Untuk stimulus G (stimulus pegun), voksels dengan keamatan maksimum berada dalam sulkus kalsarin bilateral/girus oksipital inferior kanan. Stimulus G turut mengaktifkan kawasan motor suplimen, girus pos/presentral kiri dan serebelum bilateral (yang tidak aktif semasa ABCD mahupun EF). Walau bagaimanapun, girus temporal inferior/tengah kanan tidak mengalami pengaktifan semasa stimulus G ditayangkan.

Rajah 4 adalah MIP bagi keputusan analisis pembezaan yang dilakukan untuk menentukan voksels atau kawasan di dalam otak yang lebih aktif semasa stimulus penglihatan tertentu diberikan berbanding dengan stimulus penglihatan yang lain iaitu $ABCD > EF$; $EF > ABCD$; $EF > G$; $G > EF$; $ABCD > G$; $G > ABCD$ pada aras keyakinan diperbetulkan, $p < 0.05$. Keputusan menunjukkan kawasan pengaktifan yang mempunyai kekhususan yang tinggi untuk setiap analisis pembezaan. Jadual 2 menyenaraikan kawasan yang mengalami pengaktifan untuk perbandingan tertentu yang dilakukan. Didapati, kawasan otak yang mengalami pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti untuk $ABCD$ berbanding EF ($ABCD > EF$) tidak sama dengan kawasan otak yang mengalami pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti untuk EF berbanding $ABCD$ ($EF > ABCD$). Hal yang demikian juga berlaku untuk $EF > G$ mlwn. $G > EF$ dan $ABCD > G$ mlwn. $G > ABCD$, lihat Jadual 2. Dalam kajian terdahulu (Duncan et al. 2007), stimulus ABCD dan EF masing-masing digunakan untuk menguji penglihatan umum dan medan penglihatan manakala stimulus G adalah untuk ruang penglihatan. Keputusan yang diperolehi bertepatan dengan fungsi setiap stimulus yang digunakan dan akan dibincangkan dalam bahagian berikutnya.

Rajah 5 adalah pengaktifan otak bagi keputusan analisis konjungsi. Analisis konjungsi dijalankan untuk menentukan kawasan di dalam otak yang mengalami pengaktifan sepunya untuk kesemua stimulus A, B, CD, EF dan G, untuk kesemua subjek. Pengaktifan otak yang ditunjukkan dalam Rajah 5 dipenggal pada nilai $t = 3.09$ iaitu hanya voksels yang mempunyai nilai $t \geq 3.09$ ditunjukkan sebagai bererti pada aras keertian $p < 0.001$. Dapat diperhatikan bahawa hemisfera kiri mendominasi pengaktifan otak yang berlaku. Kawasan pengaktifan



RAJAH 4. Projeksi keamatan maksimum purata pengaktifan otak kesemua subjek daripada analisis perbezaan dalam orientasi sagital, koronal dan aksial. Kawasan otak yang mengalami pengaktifan spesifik aras keyakinan diperbetulkan, $p < 0.05$ diberikan dalam Jadual 2. P: Posterior, A: Anterior, L: Kiri, R: Kanan. Anak panah menunjukkan kawasan dengan pengaktifan maksimum (koordinat pada rajah)

sepunya pada hemisfera tersebut untuk kesemua stimulus dan untuk kesemua subjek adalah girus presentral kiri, girus possentral kiri, korteks singulat tengah, girus temporal superior kiri dan girus oksipital inferior kiri.

Rajah 6 pula adalah keputusan gabungan analisis pembezaan dan analisis konjungsi untuk menentukan kawasan di dalam otak yang menunjukkan keterlibatan yang bererti dalam pemprosesan stimulus penglihatan bergerak berbanding stimulus penglihatan pegun. Keputusan mendapati hanya girus temporal tengah kanan pada kedudukan 46/-70/0 (149 voksels mengalami pengaktifan) pada aras keertian $p < 0.001$ menunjukkan pengaktifan

yang lebih tinggi secara bererti untuk pemprosesan stimulus bergerak berbanding stimulus pegun.

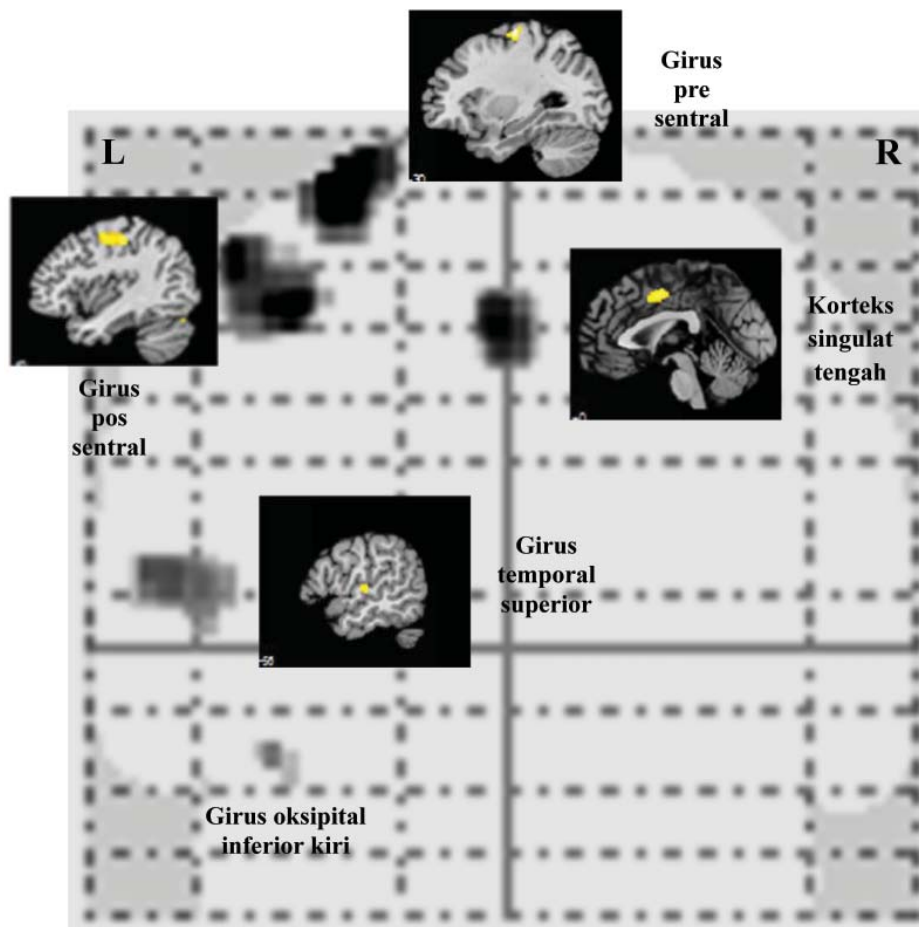
PERBINCANGAN

Kesemua subjek berumur 40 tahun ke atas. Julat umur ini dipilih kerana risiko untuk menghidap glaukoma meningkat apabila usia seseorang melampaui 40 tahun (Casson et al. 2007). Ini bermakna, data kajian ini boleh menjadi garis pangkal untuk kajian seterusnya kerana ia diperoleh daripada subjek sihat yang mempunyai risiko mendapat

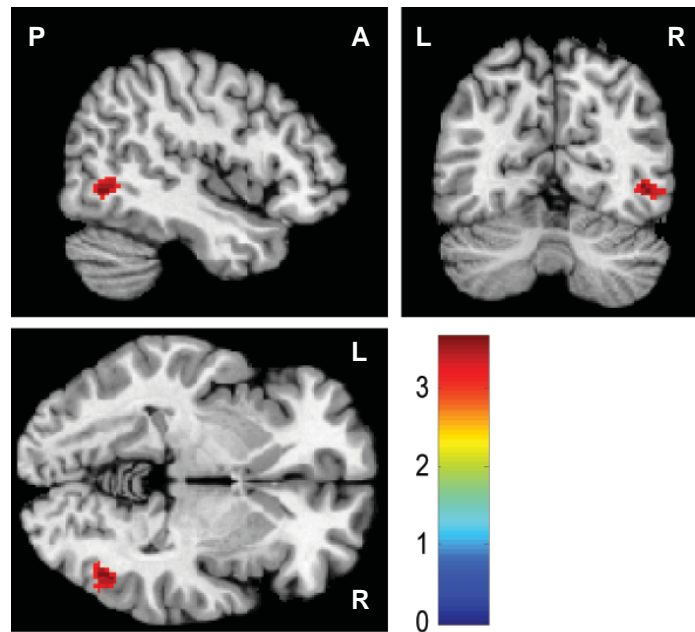
JADUAL 2. Maklumat pengaktifan otak kumpulan yang diperolehi daripada analisis perbezaan pada aras keertian $\alpha = 0.05$ (Lihat juga Rajah 4)

Stimulus	Kawasan otak	x	y	z	Nilai t ± 0.01	BVA
ABCD>EF	Girus oksipital inferior kiri	-24	-94	-6	5.28	51
EF>ABCD	Lobus parietal superior kanan	24	-70	52	4.58	1
EF>G	Girus oksipital tengah kiri	-44	-72	-2	5.71	72
	Girus oksipital inferior kanan	48	-76	-10	4.63	5
G>EF	Sulkus kalsarin kiri	-16	-98	-4	7.61	108
	Sulkus kalsarin kanan	16	-102	-2	6.15	103
	Girus frontal superior kiri	-20	52	4	5.35	33
	Serebelum kiri (Lobus V11 Crus 1)	-22	-86	-28	5.04	29
	Girus medial superior kanan	8	54	4	4.94	7
ABCD>G	Girus temporal tengah kiri	-52	-28	-10	5.29	38
	Girus temporal tengah kanan	42	-68	0	4.87	51
	Girus oksipital inferior kanan	42	-78	-4	4.58	1
G>ABCD	Girus lingual kiri	-4	-74	-4	5.84	91
	Sulkus kalsarin kiri	-10	-94	-4	4.86	8
	BA18	-6	-94	28	4.71	1

BVA = Bilangan voksel aktif



RAJAH 5. Projeksi keamatan maksimum purata pengaktifan otak kesemua subjek kumpulan dalam orientasi koronal yang diperolehi daripada analisis konjungsi pada aras keyakinan $p < 0.001$. L: Kiri, R: Kanan



RAJAH 6. Girus temporal tengah kanan (koordinat MNI 46/ -70/0) menunjukkan purata pengaktifan kesemua subjek pada aras keertian $p < 0.001$ bagi menentukan kawasan otak yang menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti apabila stimulus bergerak berbanding stimulus pegun. P: Posterior, A: Anterior, L: Kiri, R: Kanan

glaukoma. Kesemua subjek memiliki tahap penglihatan yang baik iaitu tidak kurang daripada 6/12. Ini menjadi petunjuk bahawa subjek sepatutnya dapat melihat stimulus penglihatan dan seterusnya memberi respons dengan baik. Stimulus penglihatan yang digunakan dalam kajian ini telah digunakan dalam kajian terdahulu (Duncan et al. 2007) untuk menentukan kewujudan korelasi antara fungsi korteks dan kehilangan medan penglihatan bagi pesakit glaukoma.

Rajah 4 dan 5 adalah imej statistik projeksi keamatan maksimum (MIP) otak dalam orientasi sagital, koronal dan aksial yang mempunyai maklumat lokaliti (koordinat), keamatan isyarat otak (statistik t) dan bilangan voksels aktif (BVA). Kelompok voksels berwarna hitam-kelabu menunjukkan darjah ketinggian isyarat BOLD. Semakin tinggi keamatan isyarat otak (statistik t), semakin tinggi darjah kehitaman voksels tersebut. Dalam Rajah 3, pengaktifan otak dipaparkan secara tiga dimensi dengan warna merah → putih mewakili statistik t yang meningkat. Semakin besar nilai BVA, semakin besar isipadu kawasan yang aktif.

Kesemua stimulus penglihatan A, B, CD, EF dan G yang ditayangkan menunjukkan pengaktifan yang berbeza (Jadual 1). Walau bagaimanapun, stimulus penglihatan A, B dan CD yang ditayangkan menghasilkan pengaktifan otak yang hampir serupa. Ini adalah kerana prinsip stimulus penglihatan tersebut adalah sama iaitu untuk menguji penglihatan umum (Duncan et al. 2007). Kawasan yang amat ketara penglibatannya untuk hampir kesemua stimulus adalah girus oksipital inferior, girus presentral dan korteks singulat tengah (Keputusan ini disahkan oleh analisis konjungsi). Salah satu fungsi girus oksipital inferior

adalah untuk mengecam objek yang dilihat (Rossion et al. 2003a). Dalam kajian ini, apabila subjek melihat stimulus A, B dan CD yang ditayangkan, subjek akan mengecam stimulus tersebut dan mengaktifkan girus oksipital inferior. Dinyatakan juga bahawa girus oksipital inferior kanan berfungsi sebagai pengesan pergerakan corak imej serta terlibat dalam perhatian terhadap sesuatu (Dieterich 2007; Dieterich et al. 2007; Puce et al. 1996). Girus oksipital inferior juga berfungsi apabila subjek memberi sepenuh perhatian dan fokus pada bentuk dan warna tertentu (Le et al. 1998).

Korteks singulat tengah pula berfungsi dalam proses pembelajaran dan ingatan (Trans Cranial Technologies 2012) yang seharusnya berlaku semasa stimulus ditayangkan manakala girus presentral diketahui untuk mengawal gerakan otot badan seperti gerakan jari (Yusoff 2013) dan genggam tangan (Grol et al. 2007). Pengaktifan yang signifikan dan ketara pada girus presentral kiri yang merangkumi kawasan motor primer adalah kesan daripada fungsi motor yang dicetuskan apabila subjek merespons iaitu dengan menggenggam bebuli getah dengan tangan kanan apabila melihat paparan putih. Keputusan pengaktifan otak yang kontralateral dengan tangan yang digunakan ini di sokong oleh kajian terdahulu (Yusoff et al. 2013) yang menunjukkan kawasan girus presentral kanan mengalami pengaktifan apabila subjek memberi respons dengan menggenggam bebuli getah menggunakan tangan kiri.

Konjungsi pengaktifan sebagai kesan daripada stimulus penglihatan AA BA CD menghasilkan pengaktifan yang dominan pada hemisfera kiri dan bahagian posterior otak. Kawasan girus presentral dan girus oksipital inferior

sekali lagi menunjukkan pengaktifan tertinggi. Keputusan ini disokong oleh kajian terdahulu (Puce et al. 2007) iaitu apabila subjek melihat stimulus ditayangkan, didapati hemisfera kiri (sebanyak 67 voksel) menjadi lebih aktif berbanding hemisfera kanan (26 voksel). Ini disebabkan oleh kelebihan otak kiri yang secara relatif lebih banyak berperanan memproses stimulus penglihatan berbanding otak kanan. Pengaktifan yang lebih banyak tertumpu di bahagian posterior otak pula dibincangkan sebagai disebabkan oleh korteks penglihatan dan persekutuanannya yang terletak di kawasan tersebut.

Stimulus penglihatan CD dan G pula menunjukkan keamatan dan keluasan maksimum pada kawasan yang sama iaitu sulkus kalsarin kanan/girus oksipital inferior kanan, walaupun ciri stimulus CD adalah untuk menguji penglihatan umum dan stimulus G untuk menguji ruang penglihatan. Dicaadangkan bahawa pengaktifan yang sama ini adalah disebabkan stimulus CD dan G mempunyai kontras pencahayaan yang tinggi (bercorak penuh) berbanding stimulus A, B dan EF yang secara relatifnya mempunyai kontras yang rendah. Dalam kajian terdahulu (Goodyear & Menon 1998) didapati bahawa kontras pencahayaan mempengaruhi respons BOLD pada kawasan penglihatan primer (V1). Ini adalah kerana, akan berlaku peningkatan aktiviti sel V1, pada mana sulkus kalsarin/girus oksipital inferior terletak di permukaannya, dan sekiranya terdapat peningkatan kontras pencahayaan pada stimulus, maka pengaktifannya juga akan meningkat (Goodyear & Menon 1998).

Keputusan analisis pengaktifan pembezaan yang ditunjukkan dalam Jadual 2 dan Rajah 4 sekali lagi membuktikan peranan korteks penglihatan sebagai pusat pemprosesan maklumat penglihatan dan terlibat dalam memproses stimulus penglihatan pelbagai bentuk corak dan saiz yang ditayangkan dalam kajian ini. Ini sekali gus menyokong keputusan yang dibincangkan sebelum ini. Suatu kawasan yang didapati menunjukkan pengaktifan secara bererti melalui analisis pembezaan bermaksud kawasan tersebut menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti dalam suatu keadaan berbanding dengan keadaan lain. Kesemua analisis pengaktifan pembezaan yang dijalankan iaitu $ABCD > EF$; $EF > G$; $G > EF$; $ABCD > G$; $G > ABCD$ menunjukkan pengaktifan bererti pada korteks penglihatan sama ada girus oksipital ataupun sulkus kalsarin, kecuali analisis $EF > ABCD$ yang menunjukkan pengaktifan bererti hanya pada lobus parietal superior kanan. Merujuk kepada Jadual 2, sekiranya terdapat unsur pergerakan di dalam stimulus yang ingin dibezakan terhadap stimulus statik, misalnya $EF > G$ dan $ABCD > G$, girus oksipital inferior dan girus temporal tengah didapati mengalami pengaktifan bererti. Jika kesan daripada stimulus statik yang ingin dibezakan terhadap stimulus bergerak misalnya $G > EF$ dan $G > ABCD$, sulkus kalsarin dan girus lingual didapati mengalami pengaktifan bererti. Girus lingual dikaitkan dengan kefungsi otak untuk memberi sepenuh perhatian kepada bentuk dan warna tertentu (Le et al. 1998). Girus

oksipital inferior juga dikenali sebagai Kawasan Brodmann (BA)19 manakala sulkus kalsarin adalah BA18. BA18 dan BA19 diketahui berfungsi dalam pengesanan keamatan cahaya (Mentis et al. 1997), pemprosesan maklumat ruang penglihatan (Fortin et al. 2002), pengesanan corak (Rossion et al. 2003b), penjejakan corak penglihatan bergerak (Rutschmann et al. 2000), pengekalan perhatian terhadap warna dan bentuk (Le et al. 1998) serta perhatian terhadap orientasi terpilih (Larsson et al. 2006), yang mana sebahagiannya adalah ciri stimulus yang digunakan dalam kajian ini. Perkongsian kefungsi ini disebabkan oleh kedudukan mereka yang bersebelahan. Dalam satu lagi kajian dalam konteks yang sama (Kastner et al. 1999), didapati apabila seseorang memberi perhatian kepada suatu titik pada suatu rangsangan penglihatan, aktiviti pada korteks penglihatan akan meningkat. Kajian tersebut juga mendapati bahawa kawasan berhampiran korteks penglihatan menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi melebihi pengaktifan kawasan korteks penglihatan apabila subjek menumpukan perhatian semasa melihat stimulus yang ditayangkan. Keputusan yang diperoleh juga menyokong fungsi bahagian girus temporal kerana diketahui bahawa kawasan anatomi tersebut yang terletak di luar daripada korteks penglihatan terlibat dengan persepsi penglihatan secara langsung.

Keputusan analisis konjungsi (Rajah 5) menunjukkan tiga maklumat utama yang terhasil daripada penayangan stimulus penglihatan pelbagai iaitu wujud kawasan sepunya di dalam otak yang mengalami pengaktifan bererti apabila setiap stimulus ditayangkan, ketaksimetrian kawasan sepunya tersebut yang mana kesemuanya berada di hemisfera kiri dan kewujudan kawasan pengaktifan sepunya selain daripada korteks penglihatan. Tiga ciri stimulus yang digunakan dalam kajian ini adalah untuk menguji penglihatan umum, medan penglihatan dan ruang penglihatan (Duncan et al. 2007). Dicaadangkan bahawa kepelbagaian stimulus dengan setiap satunya mempunyai keupayaan berlainan untuk mencetus pengaktifan di dalam otak telah menyebabkan pengaktifan pada kawasan di luar korteks penglihatan iaitu girus presentral, possentral, singulat tengah dan temporal superior. Secara tidak langsung juga ia menyokong sifat persepaduan otak yang menyatakan bahawa satu kawasan otak boleh mempunyai lebih daripada satu kefungsi, misalnya girus presentral dan possentral yang turut berperanan dalam pemprosesan ingatan bekerja selain fungsi utamanya iaitu kederiaan motor dan girus temporal superior yang turut terlibat dalam pemprosesan bahasa selain fungsi utamanya dalam pemprosesan bunyi. Girus singulat pula tidak mempunyai kefungsi spesifik yang berkait dengan penglihatan. Walau bagaimanapun, ia telah dilaporkan terlibat dalam proses pembelajaran (Hayden & Platt 2010), pembentukan emosi dan pemprosesan emosi (Hadland et al. 2003) serta ingatan bekerja (Rushworth et al. 2003) yang secara tidak langsung boleh berlaku semasa subjek melakukan tugas.

Keterlibatan girus temporal tengah kanan dalam kefungsi yang berkait dengan pemerhatian ke atas

objek bergerak telah dibuktikan dalam kajian ini (Rajah 6) dan disokong oleh kajian terdahulu (Calvo-Merino et al. 2005) yang mendapati bahawa kawasan ini mengalami pengaktifan apabila imej tarian balet dan kapoera ditayangkan. Girus temporal tengah, dikenali juga sebagai BA21, terletak di antara girus temporal superior dan girus temporal inferior. Kefungsian hakiki kawasan ini masih belum dikenal pasti tetapi dikaitkan dengan penganggaran jarak, pengenalanpastian wajah yang dikenali dan penilaian maksud perkataan (Trans Cranial Technologise 2012). Pengaktifannya bersama dengan BA45 dikaitkan dengan pemerhatian ke atas objek bergerak manakala penglibatannya bersama BA22 dikaitkan dengan pemprosesan bunyi kompleks (Trans Cranial Technologise 2012) dan persepsi penglihatan (Kastner et al. 1999). Sekiranya benar kefungsian girus temporal tengah berkait rapat dengan pemerhatian objek bergerak, maka kajian ini mendapati bahawa kefungsian tersebut lebih dominan pada hemisfera kanan.

Walaupun kajian ini telah dapat menghasilkan pengaktifan daripada stimulus penglihatan pelbagai bentuk, corak dan saiz, hasil kajian ini tidak boleh digunakan untuk menentukan corak pengaktifan otak masing-masing daripada penglihatan umum, medan penglihatan dan juga ruang penglihatan. Inferens ke atas pengaktifan otak yang lebih tinggi kuasa statistiknya juga perlu digunakan misalnya analisis kesan rawak (RFX) bagi membolehkan kesan spesifik di atas diperolehi pada aras keertian yang tinggi dan seterusnya membolehkan kajian ini membuat pentaakulan ke atas populasi.

KESIMPULAN

Walaupun keputusan pengaktifan otak kumpulan yang diperolehi melalui analisis kesan malar (FFX) tidak boleh ditakul untuk keseluruhan populasi, sekurang-kurangnya ia sah untuk kumpulan subjek yang menyertai kajian ini. Stimulus penglihatan pelbagai yang digunakan dalam kajian ini mengaktifkan kawasan korteks penglihatan dan juga beberapa kawasan di luar korteks penglihatan membuktikan kewujudan sifat persepaduan kefungsian yang terlibat dalam pemprosesan stimulus penglihatan yang diberikan. Pengaktifan otak tertumpu terutamanya di kawasan korteks penglihatan dan tertabur dalam BA17, 18 dan juga 19. Pengaktifan yang terhasil didapati mendominasi hemisfera kiri. Keputusan analisis konjungsi mengesahkan kedominanan hemisfera kiri otak dengan pengaktifan spesifik pada girus pre dan possentral, girus temporal superior, girus singulat tengah dan girus oksipital kiri. Kajian ini juga telah mengesahkan keterlibatan girus temporal tengah kanan dalam kefungsian yang melibatkan pemerhatian kepada objek yang bergerak. Kajian subjek normal ini dapat dijadikan satu kajian garis pangkal untuk perbandingan kajian subjek yang mempunyai masalah okular / penglihatan pada masa hadapan.

PENGHARGAAN

Penghargaan ditujukan kepada Jabatan Radiologi, Pusat Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia (PPUKM) di atas kebenaran menggunakan pengimbas MRI, Jabatan Oftalmologi, Hospital Selayang di atas bantuan menyenaraikan nama subjek yang berpotensi serta ujian optik dan kepada Sa'don Samian di atas bantuan menjalankan imbasan fMRI ke atas subjek. Penyelidikan ini dibiayai oleh Geran Penyelidikan Universiti (GUP) UKM-GUP-2011-125, Kementerian Pendidikan Malaysia dan Geran Bantuan Kewangan Bahan Penyelidikan BKBP-FSK-K010146.

RUJUKAN

- Calvo-Merino, B., Glaser, D.E., Grezes, J., Passingham, R.E. & Haggard, P. 2005. Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cereb. Cortex* 15(8): 1243-1249.
- Casson, R.J., Gupta, A., Newland, H.S., McGovern, S., Muecke, J., Selva, D. & Aung, T. 2007. Risk factors for primary open-angle glaucoma in a Burmese population: the Meiktila Eye Study. *Clinical & Experimental Ophthalmology* 35(8): 739-744.
- Desimone, R. & Duncan, J. 1995. Neural mechanisms of selective visual attention. *Annu. Rev. Neurosci.* 18: 193-222.
- Dieterich, M. 2007. Functional brain imaging: a window into the visuo-vestibular systems. *Curr. Opin. Neurol.* 20(1): 12-18.
- Dieterich, M., Bauermann, T., Best, C., Stoeter, P. & Schlindwein, P. 2007. Evidence for cortical visual substitution of chronic bilateral vestibular failure (an fMRI study). *Brain* 130(Pt 8): 2108-2116.
- Dumoulin, S.O. & Wandell, B.A. 2008. Population receptive field estimates in human visual cortex. *Neuroimage* 39(2): 647-660.
- Duncan, R.O., Sample, P.A., Weinreb, R.N., Bowd, C. & Zangwill, L.M. 2007. Retinotopic organization of primary visual cortex in glaucoma: comparing fMRI measurements of cortical function with visual field loss. *Progress in Retinal and Eye Research* 26(1): 38.
- Eickhoff, S.B., Stephan, K.E., Mohlberg, H., Grefkes, C., Fink, G.R., Amunts, K. & Zilles, K. 2005. A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *Neuroimage* 25(4): 1325-1335.
- Fortin, A., Ptito, A., Faubert, J. & Ptito, M. 2002. Cortical areas mediating stereopsis in the human brain: a PET study. *Neuroreport* 13(6): 895-898.
- Friston, K.J., Frith, C.D., Frackowiak, R.S. & Turner, R. 1995. Characterizing dynamic brain responses with fMRI: a multivariate approach. *Neuroimage* 2(2PA): 166-172.
- Friston, K.J., Holmes, A.P., Price, C.J., Buchel, C. & Worsley, K.J. 1999. Multisubject fMRI studies and conjunction analyses. *Neuroimage* 10(4): 385-396.
- Goodyear, B.G. & Menon, R.S. 1998. Effect of luminance contrast on BOLD fMRI response in human primary visual areas. *J. Neurophysiol.* 79(4): 2204-2207.
- Gratton, C., Sreenivasan, K.K., Silver, M.A. & D'Esposito, M. 2013. Attention selectively modifies the representation

- of individual faces in the human brain. *The Journal of Neuroscience* 33(16): 6979-6989.
- Grol, M.J., Majdandzic, J., Stephan, K.E., Verhagen, L., Dijkerman, H.C., Bekkering, H., Verstraten, F.A. & Toni, I. 2007. Parieto-frontal connectivity during visually guided grasping. *J. Neurosci.* 27(44): 11877-11887.
- Hadland, K.A., Rushworth, M.F., Gaffan, D. & Passingham, R.E. 2003. The effect of cingulate lesions on social behaviour and emotion. *Neuropsychologia* 41(8): 919-931.
- Hayden, B.Y. & Platt, M.L. 2010. Neurons in anterior cingulate cortex multiplex information about reward and action. *J. Neurosci.* 30(9): 3339-3346.
- Kastner, S., Pinsk, M.A., De Weerd, P., Desimone, R. & Ungerleider, L.G. 1999. Increased activity in human visual cortex during directed attention in the absence of visual stimulation. *Neuron* 22(4): 751-761.
- Larsson, J., Landy, M.S. & Heeger, D.J. 2006. Orientation-selective adaptation to first- and second-order patterns in human visual cortex. *J. Neurophysiol.* 95(2): 862-881.
- Le, T.H., Pardo, J.V. & Hu, X. 1998. 4 T-fMRI study of nonspatial shifting of selective attention: cerebellar and parietal contributions. *J. Neurophysiol.* 79(3): 1535-1548.
- Luna, B. & Sweeney, J.A. 2004. The emergence of collaborative brain function: FMRI studies of the development of response inhibition. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1021(1): 296-309.
- Melcher, D., Papathomas, T.V. & Vidnyanszky, Z. 2005. Implicit attentional selection of bound visual features. *Neuron* 46(5): 723-729.
- Mentis, M.J., Alexander, G.E., Grady, C.L., Horwitz, B., Krasuski, J., Pietrini, P., Strassburger, T., Hampel, H., Schapiro, M.B. & Rapoport, S.I. 1997. Frequency variation of a pattern-flash visual stimulus during PET differentially activates brain from striate through frontal cortex. *Neuroimage* 5(2): 116-128.
- Puce, A., Allison, T., Asgari, M., Gore, J.C. & McCarthy, G. 1996. Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: a functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience* 16(16): 5205-5215.
- Puce, A., Epling, J.A., Thompson, J.C. & Carrick, O.K. 2007. Neural responses elicited to face motion and vocalization pairings. *Neuropsychologia* 45(1): 93-106.
- Rossion, B., Caldara, R., Seghier, M., Schuller, A.M., Lazeyras, F. & Mayer, E. 2003a. A network of occipito-temporal face-sensitive areas besides the right middle fusiform gyrus is necessary for normal face processing. *Brain* 126(Pt 11): 2381-2395.
- Rossion, B., Schiltz, C. & Crommelinck, M. 2003b. The functionally defined right occipital and fusiform "face areas" discriminate novel from visually familiar faces. *Neuroimage* 19(3): 877-883.
- Rushworth, M.F., Hadland, K.A., Gaffan, D. & Passingham, R.E. 2003. The effect of cingulate cortex lesions on task switching and working memory. *J. Cogn. Neurosci.* 15(3): 338-353.
- Rutschmann, R.M., Schrauf, M. & Greenlee, M.W. 2000. Brain activation during dichoptic presentation of optic flow stimuli. *Exp. Brain. Res.* 134(4): 533-537.
- Sorstedt, E., Persson, A., Noren, B., Bjornlert, U., Malcherek, P., Axelsson, M., Johansson, J. & Smedby, O. 2005. Computed tomographic colonography: comparison of two workstations. *Acta Radiol.* 46(7): 671-678.
- Trans Cranial Technologies. 2012. Cortical Functions Reference. <http://www.trans-cranial.com>
- Warnking, J., Dojat, M., Guérin-Dugué, A., Delon-Martin, C., Olympieff, S., Richard, N., Chéhikian, A. & Segebarth, C. 2002. fMRI retinotopic mapping—step by step. *Neuroimage* 17(4): 1665-1683.
- Yusoff, A.N. 2013. Psychophysiologic Interaction between Right Precentral Gyrus and Superior Parietal Lobule. *Sains Malaysiana* 42(6): 765-771.
- Yusoff, A.N., Abdul Hamid, K., Mohamad, M., Abdullah, A., Abdul Hamid, H. & Mukari, S.Z.M. 2013. Assessing human cortical activation and network during pitch discrimination task in quiet and in noisy background. *Modern Applied Science* 7(10): 42-59.
- N.H. Nasaruddin
Program Pengimejan Perubatan & Radioterapi
Asia Metropolitan University
G-8 Jalan Kemacahaya 11,
Taman Kemacahaya,
43200 Batu 9, Cheras
Selangor D.E.
- A.N. Yusoff
Program Pengimejan Diagnostik & Radioterapi
Pusat Pengajian Sains Diagnostik & Kesihatan Gunaan
Fakulti Sains Kesihatan, Universiti Kebangsaan Malaysia
50300 Jalan Raja Muda Abdul Aziz, Kuala Lumpur
- Sharanjeet Kaur
N.F. Nasrudin
Program Optometri & Sains Penglihatan
Pusat Pengajian Sains Jagaan Kesihatan
Fakulti Sains Kesihatan, Universiti Kebangsaan Malaysia
50300 Jalan Raja Muda Abdul Aziz, Kuala Lumpur
- S. Muda
Jabatan Radiologi
Pusat Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia
Jalan Yaacob Latiff, Bandar Tun Razak
56000 Cheras, Kuala Lumpur

*Pengarang untuk dihubungi; email: nazlimtrw@ukm.edu.my

Diserahkan: Jun 2014

Diterima untuk penerbitan: November 2014